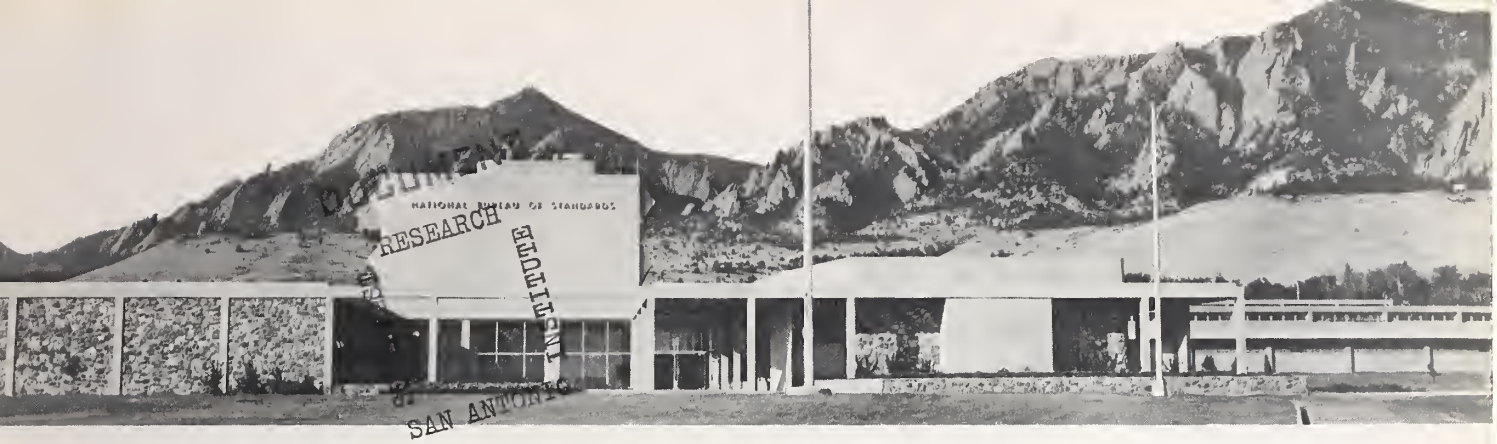

NBS REPORT

5530

CORRELATION ENTRE LE CHAMP ELECTRIQUE A GRAND DISTANCE ET UN NOUVEAU PARAMETRE RADIO-METEOROLOGIQUE

par

Pierre Misme
Ingenieur de la Meteorologie detache
au
Centre National d'Etudes des Telecommunications
Paris, France

with
Translation by
M. C. Thompson, Jr. and Ann Fails

NBS

U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
BOULDER LABORATORIES
Boulder, Colorado

THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

Functions and Activities

The functions of the National Bureau of Standards are set forth in the Act of Congress, March 3, 1901, as amended by Congress in Public Law 619, 1950. These include the development and maintenance of the national standards of measurement and the provision of means and methods for making measurements consistent with these standards: the determination of physical constants and properties of materials; the development of methods and instruments for testing materials, devices, and structures; advisory services to Government Agencies on scientific and technical problems; invention and development of devices to serve special needs of the Government; and the development of standard practices, codes and specifications. The work includes basic and applied research, development, engineering, instrumentation, testing, evaluation, calibration services, and various consultation and information services. A major portion of the Bureau's work is performed for other Government Agencies, particularly the Department of Defense and the Atomic Energy Commission. The scope of activities is suggested by the listing of divisions and sections on the inside back cover.

Reports and Publications

The results of the Bureau's work take the form of either actual equipment and devices or published papers and reports. Reports are issued to the sponsoring agency of a particular project or program. Published papers appear either in the Bureau's own series of publications or in the journals of professional and scientific societies. The Bureau itself publishes three monthly periodicals, available from the Government Printing Office: The Journal of Research, which presents complete papers reporting technical investigations; the Technical News Bulletin, which presents summary and preliminary reports on work in progress; and Basic Radio Propagation Predictions, which provides data for determining the best frequencies to use for radio communications throughout the world. There are also five series of nonperiodical publications: The Applied Mathematics Series, Circulars, Handbooks, Building Materials and Structures Reports, and Miscellaneous Publications.

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS REPORT

NBS PROJECT		NBS REPORT
8300-00-9083	October 24, 1957	5530

CORRELATION ENTRE LE CHAMP ELECTRIQUE
A GRAND DISTANCE ET UN NOUVEAU PARAMETRE
RADIO-METEOROLOGIQUE

par

Pierre Misme
Ingenieur de la Meteorologie detache
au
Centre National d'Etudes des Telecommunications
Paris, France

with
Translation by
M. C. Thompson, Jr. and Ann Fails

The research contained in this report was done at the National Bureau of Standards, Boulder, Colorado, under Purchase Requisition No. 83-0190.

U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
BOULDER LABORATORIES
Boulder, Colorado

IMPORTANT NOTICE

NATIONAL BUREAU OF S
ments intended for use wit
is subjected to additional e
tion, or open-literature list
mission is obtained in writin
25, D. C. Such permission
been specifically prepared i

Approved for public release by the Director of the National Institute of Standards and Technology (NIST) on October 9, 2015.

or progress accounting docu-
ports is formally published it
lication, reprinting, reproduc-
is not authorized unless per-
au of Standards, Washington
ncy for which the Report hos
opies for its own use.

CORRELATION ENTRE LE CHAMP ELECTRIQUE A GRAND DISTANCE ET UN NOUVEAU PARAMETRE RADIO-METEOROLOGIQUE

par

Pierre MISME*

Depuis plusieurs années de nombreux travaux ont essayé de corréler le champ électrique au delà de l'horizon de l'émetteur et le gradient d'indice de réfraction [1, 2, 3] calculé à partie des radio-sondages météorologiques. On peut résumer ces résultats de la façon suivante: Les corrélations entre les valeurs moyennes mensuelles du champ et du gradient d'indice de réfraction sont voisines de l'unité tandis que les corrélations entre les valeurs instantanées du champ et du gradient sont très faibles.

Dans le travail ci-dessous nous allons essayer de chercher s'il est possible de définir un nouveau paramètre radio-météorologique qui permette de corréler avec une valeur acceptable, le champ électrique au delà de l'horizon et ce nouveau paramètre.

Nous devons remarquer que la connaissance thermodynamique de l'atmosphère pendant la durée du radiosondage devrait permettre d'expliquer la valeur du champ électrique mesurée durant la même période. Comme le gradient d'indice de réfraction ne permet pas

---

* Ingénieur de la Météorologie détaché au Centre National d'Etudes des Télécommunications, Paris.

d'obtenir de corrélation acceptable on doit admettre que l'inertie de l'appareil de mesure est trop grande ou que la notion de gradient d'indice est insuffisante. Nous étudierons les résultats fournis par la liaison expérimentale du N.B.S. dont les caractéristiques sont les suivante:

Distance: 370 Km

Emetteur: 1046 Mc/s - 4 Kw

Altitude de l'émetteur: 697 m au dessus du terrain local

Altitude du récepteur: 6 m " " " " "

Station de radiosondage: Dodge-City; Etant donné la proximité de cette station on peut admettre qu'elle représente les conditions météorologiques régnant sur le parcours.

Le schéma de cette liaison est donné sur la fig. 1.

Quelquesoit le mécanisme de propagation que l'on veuille accepter pour expliquer de champ reçu en R, on doit considérer plus particulièrement un volume défini approximativement par la partie de l'atmosphère commune aux lobes des 2 antennes. En effet les théories de la diffusion ou des réflections partielles ont mis en évidence le role joué par cette partie de l'atmosphère. Pour les même raisons les variations de l'ange θ doivent être considérées. On sait que dans les théories de la diffusion, le champ reçu en R décroit rapidement lorsque θ augmente, dans les théories des réflections partielles le

coefficient de réflection suit une loi analogue. Remarquons d'une façon générale que lorsque θ est nul on a une propagation en visibilité, au sens radioélectrique du mot, c'est à dire que le champ en R est maximum. (En négligeant les phénomènes passagers de focalisation [4].) Lorsque θ augmente, le récepteur est plus loin dans la zone d'ombre géométrique et le champ en R est plus faible. Or cet angle θ, pour un trajet donné, est uniquement fonction du gradient d'indice de réfraction.

Notion de gradient util: La variation de l'indice de réfraction avec l'altitude n'étant pas linéaire, le gradient n'est pas constant, et il est util de définir le nombre que nous prendons pour caractériser la réfraction sur le parcours considéré. Considérons un rayon issu de l'émetteur et arrivant en un certain point de l'atmosphère. Considérons d'autre part un rayon suivant une trajectoire circulaire, issu du même émetteur dans la même direction et arrivant au même point. Pour ces deux rayons les effets dus à la réfraction seront les mêmes. Le second rayon suit une trajectoire circulaire parfaitement définie par les trois conditions: position de l'émetteur, tangente à l'émission, position du récepteur. De ce fait cette trajectoire circulaire unique définit un gradient d'indice de réfraction constant. C'est ce nombre constant que nous appellerons gradient util.

On peut démontrer [5] que si la variation d'indice de réfraction avec l'altitude suit une loi approximativement parabolique (fig. 2) et si M représente l'indice de réfraction à l'altitude à laquelle on veut étudier un rayon issu du niveau du sol sous un angle très faible, le gradient util G est donné par la formule

$$G = \frac{2G_1 + G_2}{3}$$

dans laquelle

G_1 = gradient au sol (c'est à dire gradient moyen dans les basses couches).

G_2 = gradient en M.

Pour évaluer l'effet de la réfraction sur l'angle θ dans le cas de la liaison envisagée ci-dessus nous adopterons les conventions suivantes:

G_1 = différence de la valeur de l'indice entre le niveau 700 mb et le sol. Le niveau 700 mb se situe dans la partie inférieure du volume commun aux deux aériens et son altitude est de l'ordre de 2000 m au dessus du sol.

G_2 = gradient à 8000 m. Cette altitude correspond à la partie superieure du même volume.

Comme la différence d'altitude entre la station de radiosondage et 700 mb est de 2000 m environ il suffira de faire la somme $G_1 + G_2$ pour obtenir le triple du gradient util.

Paramètre de stabilité: Il semble que la notion de stabilité thermodynamique de l'atmosphère joue un rôle important qui n'est pas matérialisé par les variations de l'indice de réfraction calculé à partir des mesures faites par les radiosondes. Cette notion de stabilité est visible sur les liaisons en visibilité et on sait en particulier que les après-midi instables le champ est beaucoup plus irrégulier que la nuit par exemple. Comme les maxima instantanés s'éloignent peu de l'affaiblissement en espace libre, les champs irréguliers correspondent à des moyennes horaires plus faibles que les champs stables.

On essayera d'évaluer la stabilité de l'atmosphère par le travail qu'il faudrait fournir à un volume élémentaire d'air situé au niveau du sol, pour l'élever au niveau 700 mb. En effet on ne peut pas considérer uniquement la stabilité à l'intérieur du volume commun aux deux antennes car cette stabilité est fonction des conditions atmosphériques entre le sol et le niveau considéré.

Considérons un diagramme pression-température sur lequel on a tracé un réseau de courbes adiabatiques et un réseau de courbes pseudo-adiabatiques (fig. 3). Soit MM_3 la courbe pression-température mesurée. Elevons un volume élémentaire situé en M pour l'amenner au niveau P_2. Il subira une détente adiabatique jusqu'au niveau où par suite du refroidissement la vapeur d'eau contenue dans ce volume deviendra saturante. Soit M_1 ce point. A partir de ce niveau par

suite de la condensation il suivra la courbe M_1M_2 que l'on appelle pseudo-adiabatique. On sait que l'aire $MM_1M_2M_3$ est proportionelle au travail qu'il faut fournir au volume pour le déplacer de M en M_2. Si l'aire est située dans la région du diagramme correspondant à des températures inférieures à celles de la courbe MM_3 ce travail est positif, dans le cas contraire le travail est négatif, c'est à dire que l'atmosphère est particulièrement instable.

On peut évaluer l'aire considérée de la façon suivante: Soit MT_1 une droite laissant de part et d'autre de la courbe MM_1M_2 des aires égales, soit MT_2 la droite correspondant à la courbe MM_3 (fig. 4). A la précision dont nous avons besoin on peut considérer que sur le diagramme Pseudo-adiabatique du Weather Bureau les angles α et β sont constants ainsi que la distance sol - 700 mb.. Par conséquent l'aire considérée sera proportionelle à la longueur T_1T_2 que l'on peut évaluer en degrès: Nous l'appellerons T.

Considérons maintenant pour des jours différents des valeurs d'affaiblissement de propagation que l'on peut considérer comme égaux: 209 à 212 db par exemple. Ces valeurs correspondent à des valeurs moyennes pour la liaison étudiée. On s'aperçoit alors que dans le plan T, G_1 existe une corrélation non négligeable entre T et G_1 (fig. 5). Cette corrélation suggère que pour des affaiblissements égaux, le paramètre qui décrira le mieux l'atmosphère ne sera pas G

mais une fonction de la forme G+aT dans laquelle a est un coefficient qui sera déterminé expérimentalement et dont les dimensions seront $M^{-1}L^{-3}T^{2}$. Sur la fig. 5 remarquons que les points A et B correspondent aux sondages du 2 octobre (fig. 7) et du 18 juillet (fig. 6). On voit sur ces figures que si on n'avait pas arbitrairement choisi le niveau 700 mb. mais un niveau légèrement supérieur les valeurs de T auraient été très différentes et les points A et B auraient un position qui peut être estimée dans la direction des flèches.

Employons la même représentation pour les champs forts (198 à 202 db), nous trouverons une corrélation semblable. Par contre pour les champs très faibles (220 à 225 db) cette corrélation est très inférieure. On doit rapeller que l'on a admis que l'instabilité des basses couches pouvaient influencer l'instabilité dans le volume commun aux deux antennes. Supposons que la stabilité soit particulièrement grande dans les basses couches par suite par exemple d'une inversion de température. Le paramètre que nous avons choisi ne donnera pas une bonne évaluation de l'instabilité (fig. 8), puisque la basse atmosphère n'aura aucune influence aux plus grandes altitudes. On est donc conduit à ne pas considérer les très basses couches, et il semble logique d'éliminer les 500 premiers mètres c'est à dire d'étudier la tranche de 850 à 650 mb.. On conservera évidement d'autre part le gradient moyen sol - 700 mb.. On trouve alors une

corrélation aussi bonne que dans les cas précédents. Par conséquent pour représenter l'état de l'atmosphère du point du vue de la propagation au delà de l'horizon on est conduit à considérer la somme du gradient util et d'un paramètre d'instabilité ainsi que nous l'avons défini ci dessus.

On a choisi expérimentalement la fonction G_M que l'on appellera le gradient modifié:

$$(1) \quad G_M = G + T/2$$

avec: G = gradient util

T = travail d'instabilité mesuré comme indiqué ci-dessus.

On a représenté sur la fig. 9 les affaiblissements de transmission en fonction du gradient modifié.

Rappelons que les affaiblissements de transmission sont les affaiblissements moyens mesurés pendant l'exécution du radiosondage. C'est à dire que l'on a considéré la moyenne pendant 2 heures. On a évité les jours pendant lesquels l'affaiblissement a beaucoup varié aux heures proches du radiosondage. Ces jours là il est possible qu'un front/de discontinuité interessait le parcours; de ce fait le radiosondage considéré n'était pas représentatif de la masse d'air située sur le trajet émetteur-récepteur.

On s'aperçoit ainsi sur la fig. 9 que la corrélation entre le gradient modifié et l'affaiblissement de transmission est de beaucoup

supérieure à la corrélation gradient-affaiblissement déjà connue. Il semble donc qu'il soit util de prendre en considération un paramètre d'instabilité atmosphérique et non pas seulement le gradient moyen. On peut évidement envisager d'étudier d'autres paramètres d'instabilité et ce premier travail ne prétent être qu'un essai.

Interprétation des résultats: 1) Si on admet que la corrélation entre l'affaiblissement de transmission et le gradient modifié est assez bonne pour que ces deux grandeurs soient reliées par une fonction, on est conduit à dégager la conclusion suivante:

Pour des gradients d'indice de réfraction égaux, l'atmosphère qui se caractérise par la plus grande stabilité permet de recevoir à grande distance les champs les plus élevés.

Il semblerait donc que si la stabilité thermodynamique conduit à une bonne stratification atmosphérique, la contribution des "layers" est particulièrement importante dans le mécanisme de la propagation à grande distance.

2) On sait que les valeurs moyennes de la courbe température-pression s'éloignent peu de l'équilibre adiabatique de l'atmosphère. De ce fait les valeurs moyennes du travail que nous avons considérées pour définir la stabilité sont faibles et sensiblement constantes d'un mois à l'autre. Il est donc normal que les moyennes mensuelles de l'affaiblissement et du gradient d'indice soient bien correlées.

Remarques: 1) Dans la formule (1) définissant le gradient modifié on a été amenné à prendre un coefficient 1/2 pour le travail. Il semblerait d'après les courbes T,G (fig. 5) que ce coefficient varie avec T. Mais nous n'avons pas dépouillé assez de résultats pour pouvoir l'affirmer. Il est probable que l'on sera conduit par la suite à adopter une formule légèrement différente pour le gradient modifié.

2) Dans le travail ci-dessus on n'a pris en considération que les radiosondages de 15 h TU. En effet on sait que les phénomènes de radiations influent sur la mesure de la température par les radiosondes. De ce fait nous avons préféré ne pas comparer les résultats de mesures nocturnes et diurnes.

Remerciements: Je dois remercier le N.B.S. que m'a aimablement fourni les possibilités matérielles qui m'ont permis de faire cette étude. En particulier je remercie mon ami B. Bean dont les conseils m'ont été des plus utils.

Bibliographie

1. B. Bean: "Some applications of the Monthly Median Refractivity Gradient in the tropospheric propagation." P.I.R.E., Vol. 43, Oct. 1955.

2. Kazihiko Tao: "Meteorological influences on the hourly median field strength of U.S.W. in the diffraction region." Journal of the Radio Research Laboratories, Tokyo, April 1957.

3. Dreyfus, Augier, Boithias, DuCastel, Mercier, Misme: "Essais de propagation radioélectrique en ondes ultra-courtes au Cameroun." B.C.E.O.M. Paris, février 1957.

4. P. Rivet: "Etude de l'effet de focalisation sur des liaisons longues en visibilité." Onde Electrique, janvier 1956.

5. P. Misme et A. Perlat: "Erreurs d'altitudes dans la radio-détection des sondes météorologiques." Communication à la "Commission Internationale des Méthodes d'Observation." W.M.O., Paris, juin 1957.

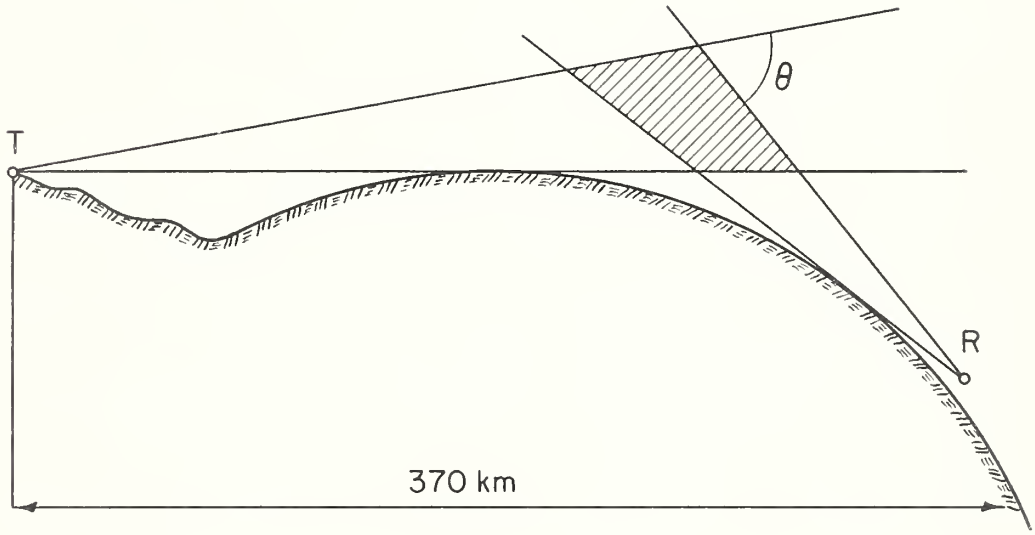

Figure 1

Schéma du trajet expérimental.

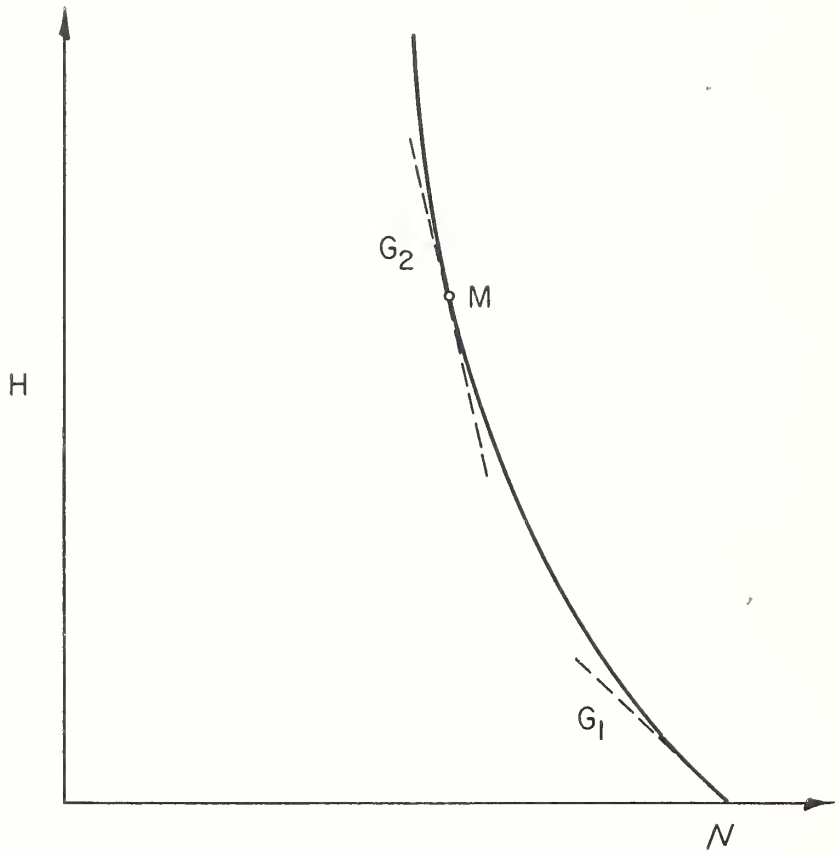

Figure 2

Distribution d'indice en altitude.

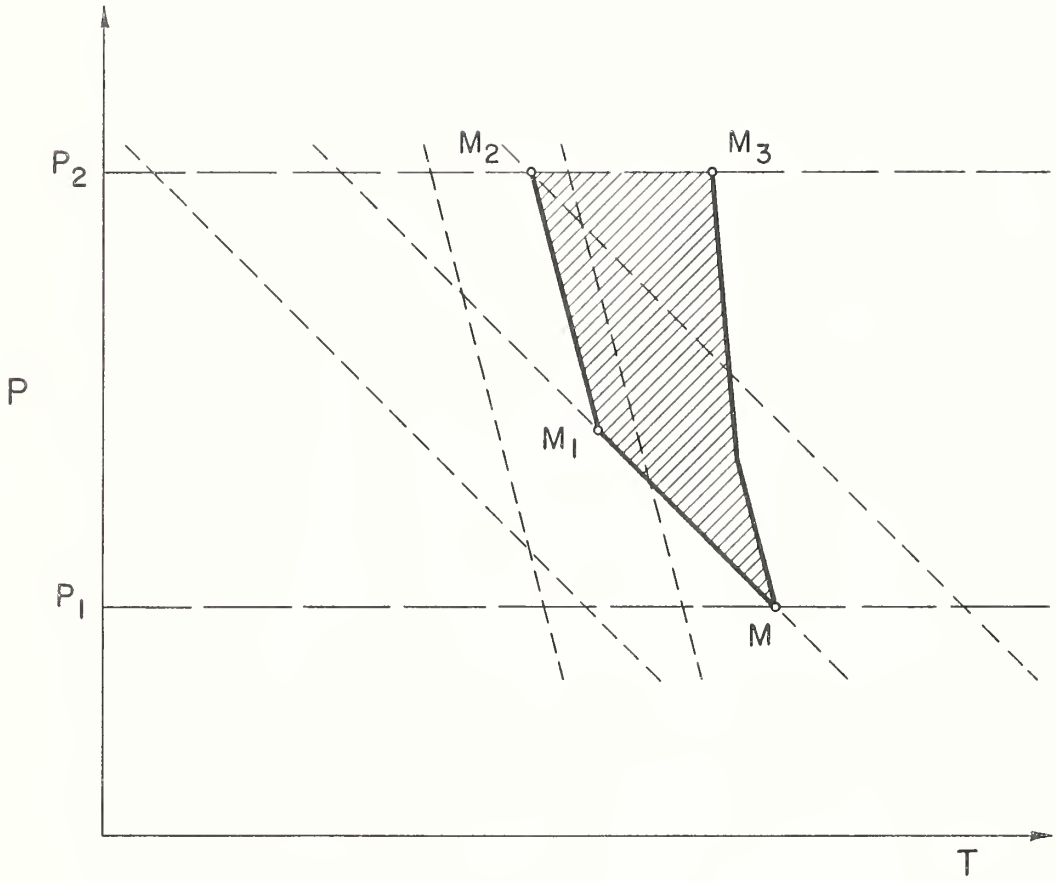

Figure 3

MM_3: courbe mesurée pression-température.
MM_1M_2: transformation adiabatique élevant un volume élémentaire du niveau P_1 au niveau P_2.

Les courbes pointillées correspondent aux courbes adiabatiques et pseudo-adiabatiques. Même représentation pour les figures suivantes.

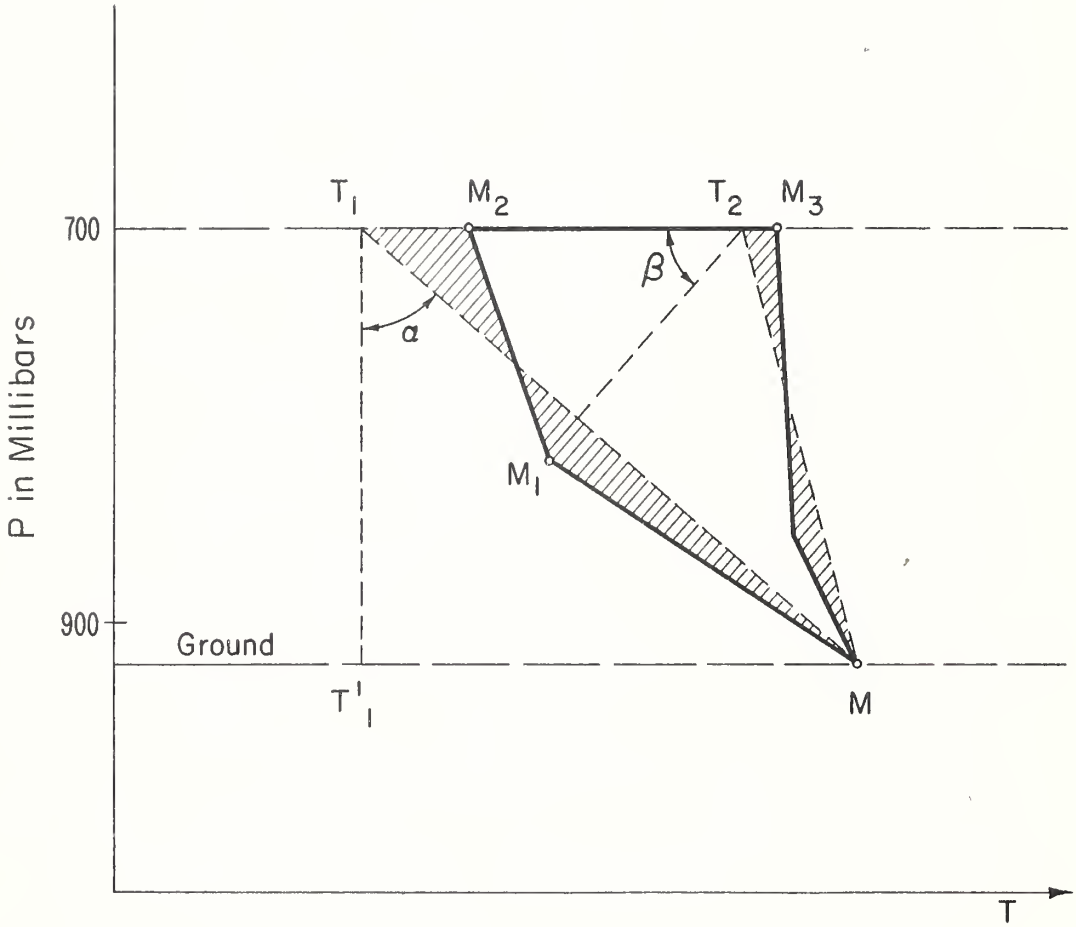

Figure 4

Evaluation du travail nécessaire pour élever un volume élémentaire du sol à 700 mb.

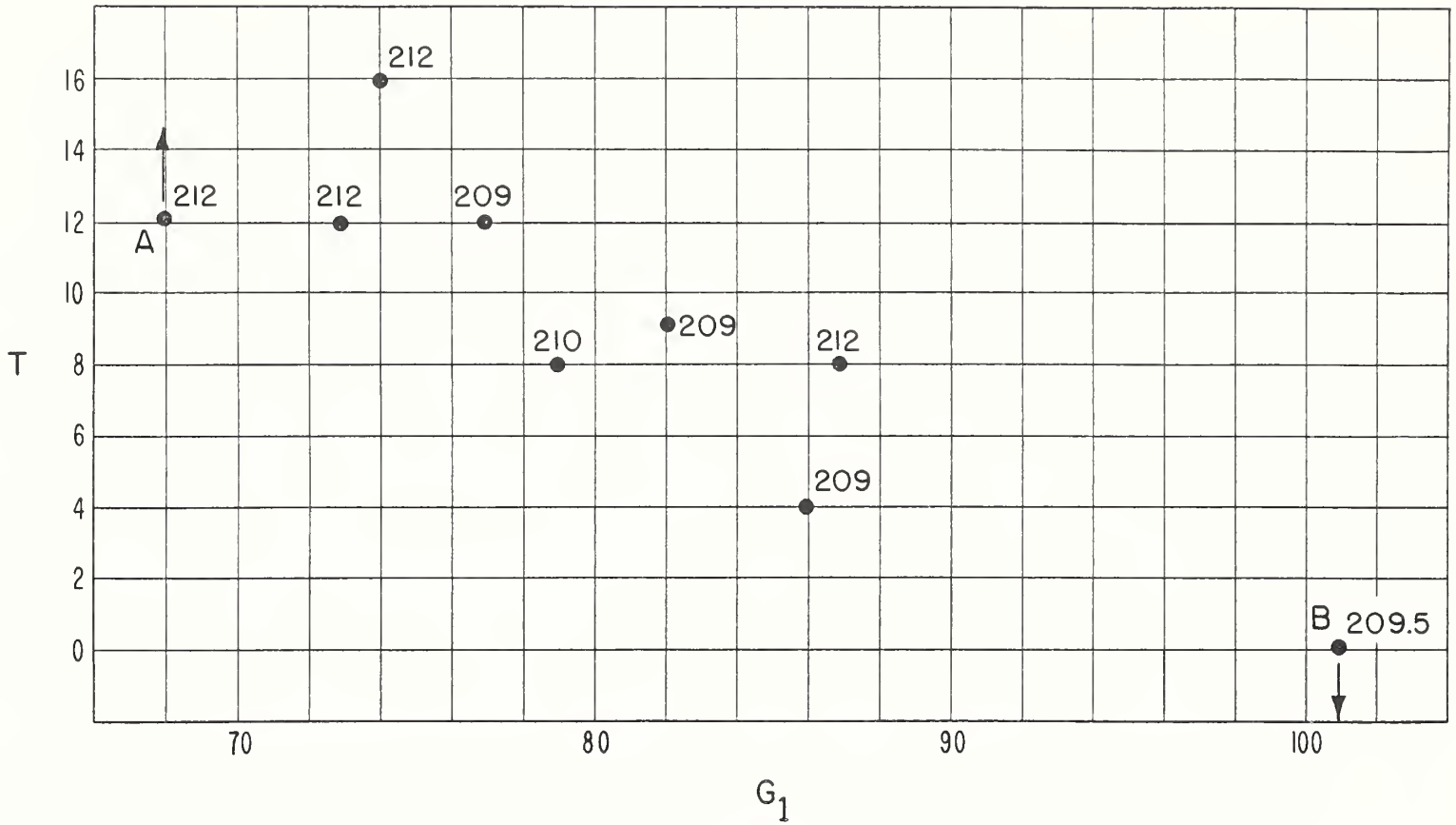

Figure 5

A champ électrique constant distribution du gradient d'indice en fonction du travail d'instabilité:
Les cotes des points indiquent l'affaiblissement de transmission.
Les flèches indiquent la direction probable des points A et B pour une évaluation légèrement différente du travail d'instabilité.

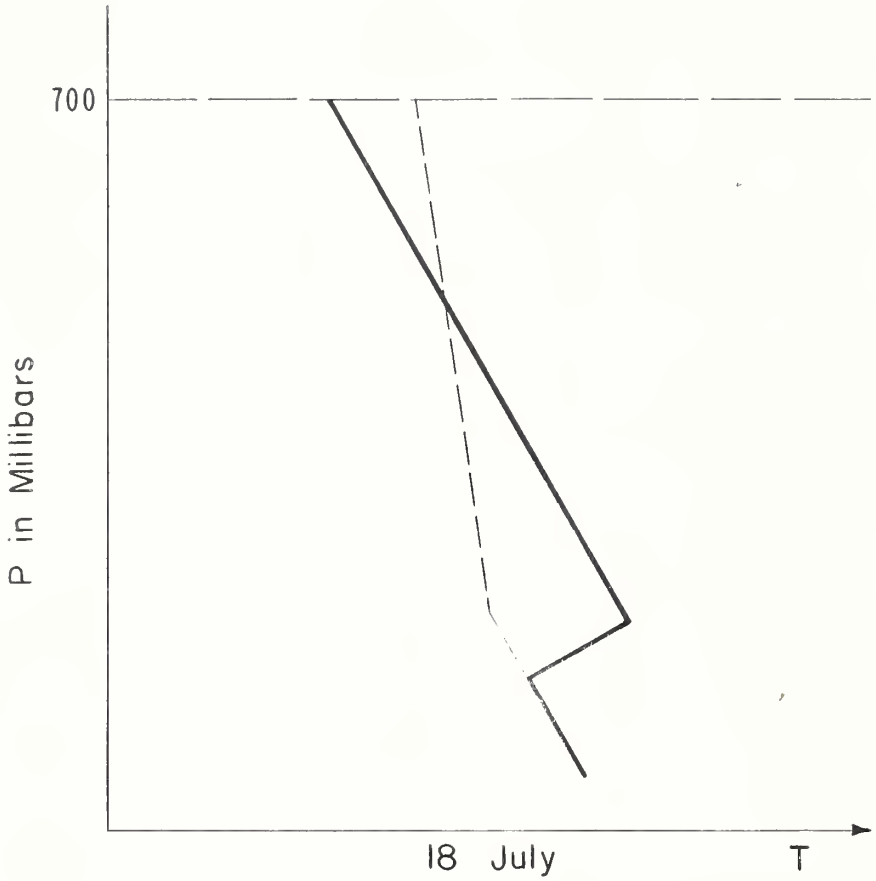

Figure 6

Sondage du 18. 7 (Point B).

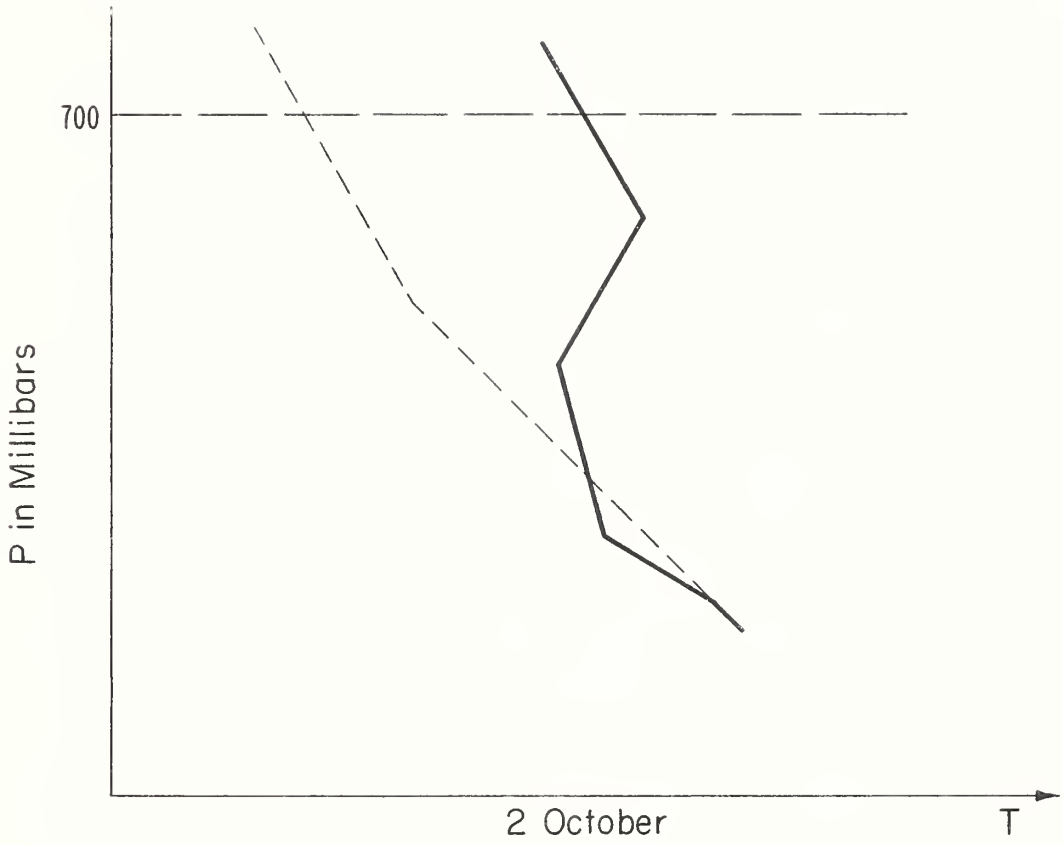

Figure 7

Sondage du 2.10 (Point A).

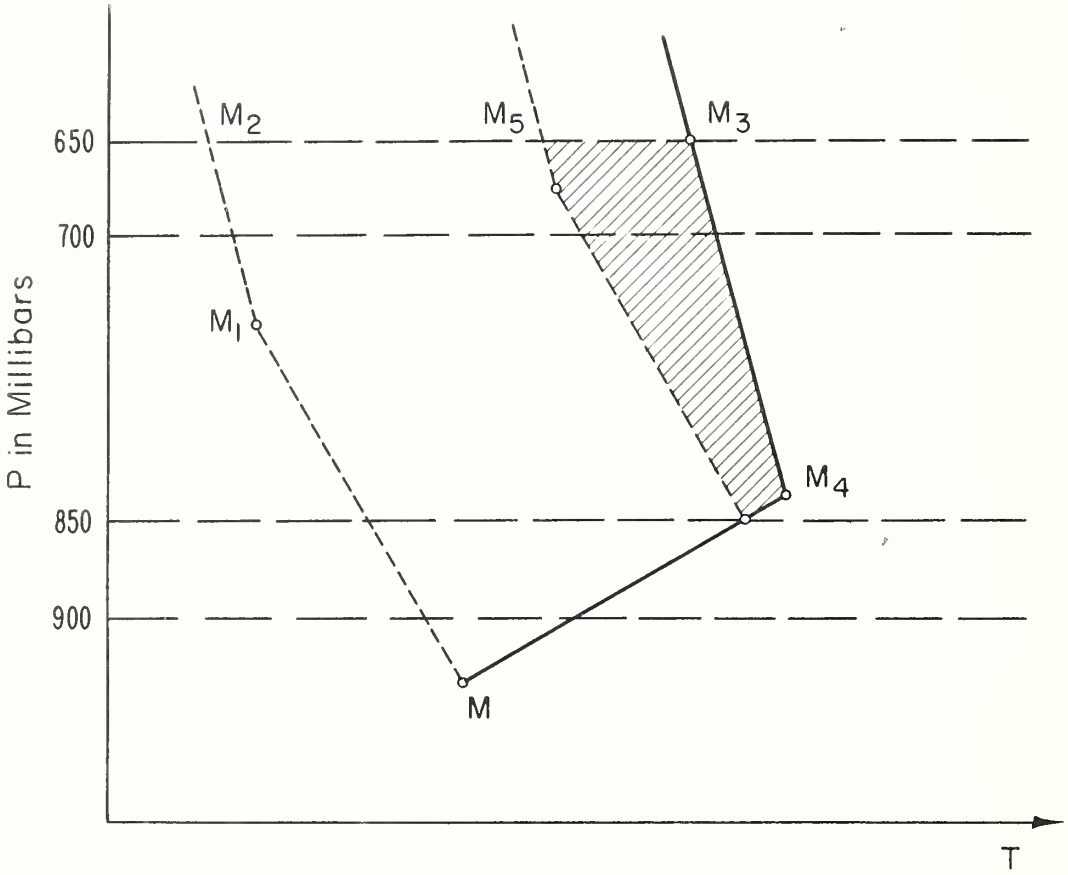

Figure 8

Evaluation du travail d'instabilité dans le cas d'une inversion de température au sol.

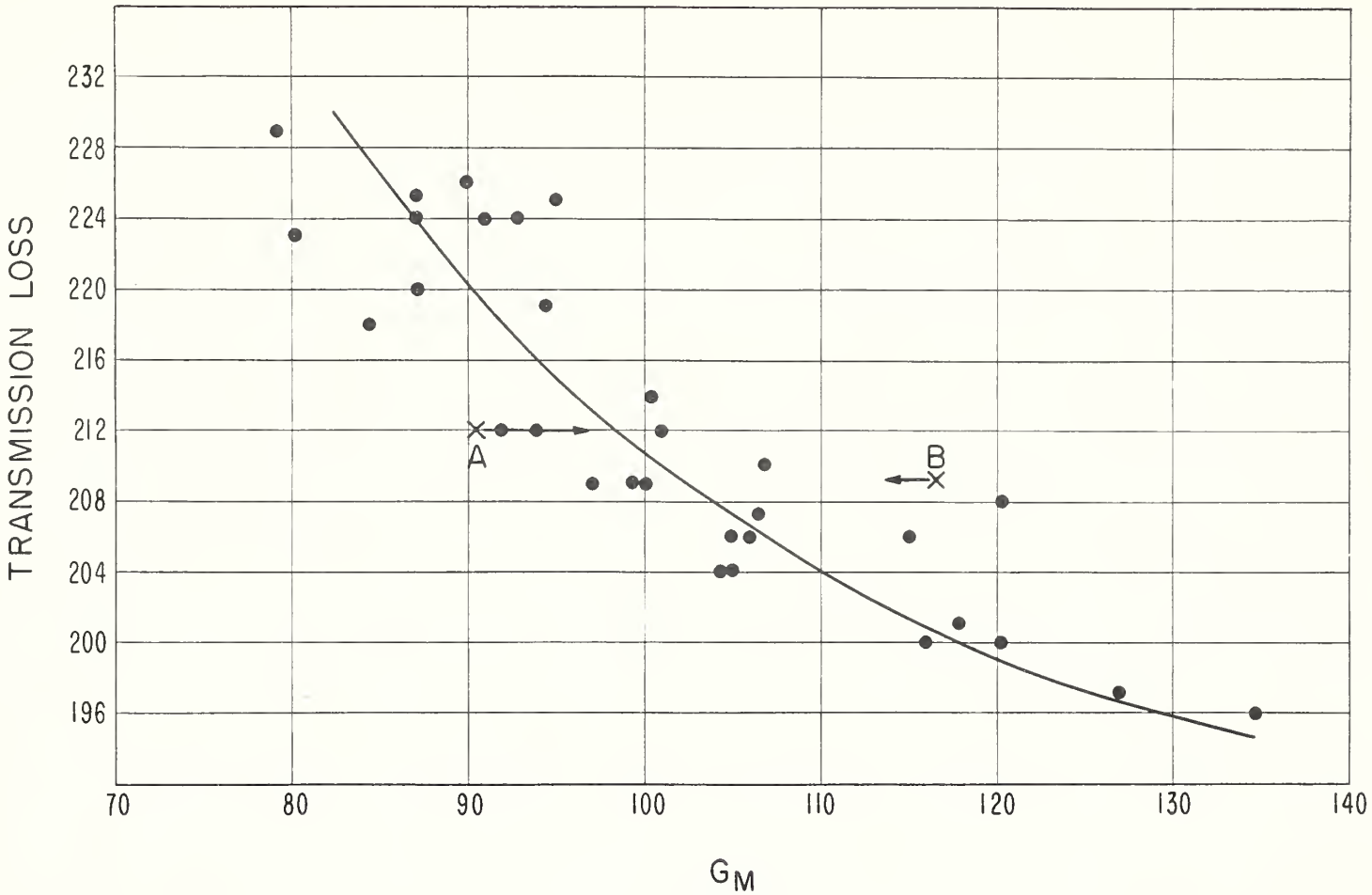

Figure 9

Distribution de l'affaiblissement de transmission en fonction du gradient modifié. (Il s'agit des valeurs horaires de l'affaiblissement de transmission et de valeurs du gradient modifié correspondant au radiosondage effectué au même instant.) Les points A et B correspondent aux même mesures que sur la fig. 5. Les valeurs indiquées en abcisses correspondent au triple de la valeur du gradient par kilomètre.

THE CORRELATION BETWEEN THE ELECTRIC FIELD AT A GREAT DISTANCE AND A NEW RADIO-METEOROLOGICAL PARAMETER

by

Pierre Misme*
(Translation by M. C. Thompson, Jr. and Ann Fails.)

For several years, numerous works have attempted to correlate the electric field beyond the horizon of the transmitter and the refractive index gradient [1, 2, 3] calculated from meteorological radiosoundings. One can summarize these results in the following fashion: The correlations between the monthly median values of the field and the refractive index gradient are in the neighborhood of unity whereas the correlations between the instantaneous values of the field and the gradient are very small.

In the following work, we shall see if it is possible to define a new radio-meteorological parameter which permits correlating, with an acceptable value, the electric field beyond the horizon and this new parameter.

We should notice that the thermodynamic knowledge of the atmosphere during the duration of the radiosounding ought to permit explaining the value of the measured electric field during the same period. As the refractive index gradient does not permit obtaining an acceptable correlation, one must admit that the inertia of the measuring instrument is very great or that the idea of gradient of index is insufficient. We will study the results furnished by the experimental link of NBS of which the characteristics are the following:

Distance: 370 Km**

Transmitter: 1046 Mc/s - 4 Kw

* Engineer of the Meteorological group of the Centre National d' Etudes des Telecommunications, Paris.

**Translator's note: This is the Cheyenne Mountain-Garden City path of the Cheyenne Mountain Field Station.

Altitude of the transmitter: 697 m above the local terrain.

Altitude of the receiver: 6 m above the local terrain.

Station of radio-sounding: Dodge-City; Because of the proximity of this station, one can assume that it represents the meteorological conditions prevailing over the path.

The arrangement of this link is given in Fig. 1.

Whatever the mechanism of propagation that one wants to accept to explain the field strength at the receiver, R, one ought to consider more particularly a volume defined approximately by that part of the atmosphere common to the lobes of the two antennas. In effect, the theories of scattering or of partial reflections have shown the role played by this part of the atmosphere. For the same reasons the variations of the angle θ ought to be considered. One knows that in the theories of scattering, the field received at R decreases rapidly when θ increases; in the theories of partial reflections, the coefficient of reflection follows a similar law. We notice, in general, that when θ is zero one has line-of-sight propagation in the radioelectrical sense of the word, that is to say that the field at R is maximum. (Neglecting the accompanying phenomena of focussing [4].) When θ increases, the receiver is farther into the zone of geometric shadow and the field at R is weaker. But this angle θ for a given path is uniquely a function of the refractive index gradient.

Idea of Useful Gradient: The variation of refractive index with altitude not being linear, the gradient is not constant, and it is useful to define the number that we are taking to characterize the refraction over the path being considered. Consider a ray emitted from the transmitter and arriving at a certain point in the atmosphere. Consider, on the other hand, a ray following a circular path, emitted from the same transmitter in the same direction and arriving at the same point. For these two rays the effects due to the refraction will be the same. The second ray follows a circular path completely defined by the three conditions: position of the transmitter, angle of emission, position of the receiver. From this fact this unique circular path defines a constant refractive

index gradient. It is this constant number that we will call "useful gradient".

One can show [5] that if the variation of refractive index with altitude follows a law approximately parabolic (Fig. 2) and if M represents the index at the altitude at which one wants to study a ray emitted from the ground level at a very small angle, the useful gradient G is given by the formula

$$G = \frac{2G_1 + G_2}{3}$$

in which

G_1 = gradient at the ground (that is, mean gradient in the lower layers).

G_2 = gradient at M.

To evaluate the effect of the refraction on the angle θ in the case of the link considered above we will adopt the following conventions:

G_1 = Difference of the value of the index between the 700 mb level and the surface. The 700 mb level is situated in the lower part of the common volume of the two antennas and its altitude is of the order of 2000 m above the surface.

G_2 = gradient at 8000 m. This altitude corresponds to the upper part of the same volume.

As the difference of altitude between the radiosonde station and 700 mb is approximately 2000 m, it will be sufficient to add $G_1 + G_2$ to obtain three times the useful gradient.

Parameter of Stability: It appears that the idea of thermodynamic stability of the atmosphere plays an important part which is not given by the variations of the refractive index calculated from measurements made by the radiosoundings. This idea of stability is seen on the line-of-sight links and one knows in particular that the afternoon fluctuations of the field are much more irregular than at night, for example. As the instantaneous maxima depart

little from the free-space attenuation, the irregular fields correspond less to the average hours than the stable fields.

One may attempt to evaluate the stability of the atmosphere by the work which must be furnished to an elementary volume of air situated at the surface, to raise it to the 700 mb level. In effect one can not consider only the stability at the interior of the common volume to the two antennas for this stability is a function of the atmospheric conditions between the surface and the level considered.

Let us consider a pressure-temperature diagram on which one has traced a network of adiabatic curves and a network of pseudo-adiabatic curves (Fig. 3). Let MM_3 be the pressure-temperature curve measured. Let us raise an elementary volume situated at M to bring it to the level P_2. It undergoes an adiabatic expansion up to the level where, following the condensation of the water vapor contained in this volume, it becomes saturated. Let M_1 be this point. To leave this level, following the saturation, it follows the curve M_1M_2 which is called pseudo-adiabatic. One knows that the area $MM_1M_2M_3$ is proportional to the work which must be furnished to the volume to displace it from M to M_2. If the area is situated in the region of the diagram corresponding to temperatures lower than those of the curve MM_3 this work is positive, in the opposite case the work is negative, that is to say that the atmosphere is particularly unstable.

One can evaluate the area considered in the following manner: Let MT_1 be a straight line dividing the parts of the curve MM_1M_2 into equal areas, and let MT_2 be the corresponding straight line for the curve MM_3 (Fig. 4). To the required precision one can consider that on the Pseudo-adiabatic diagram of the Weather Bureau the angles α and β are constants as well as the distance, surface - 700 mb. Consequently the considered area will be proportional to the length T_1T_2 which one can evaluate in degrees: we will call it T.

Let us consider now some different meteorological conditions which resulted in essentially equal values of transmission loss: 209 to 212 db, for example. These values correspond to the median values for the link studied. In the plot of Fig. 5 one perceives a noticeable correlation between T and G_1. This correlation suggests that for equal attenuations the parameter which best describes the atmosphere will not be G but a function of the form $G + aT$ in

which a is a coefficient which will be determined experimentally and of which the dimensions will be $M^{-1}L^{-3}T^{2}$. On Fig. 5, we notice that the points A and B correspond to the soundings of the second of October and the eighteenth of July (Fig. 6). One sees on these figures that if one had not arbitrarily chosen the level 700 mb but a level slightly higher the values of T would have been very different and the points A and B would have a position which could be estimated in the direction of the arrows.

Using the same representation for the strong fields (198 to 202 db), we find a similar correlation. On the other hand for very weak fields (220 to 225 db) this correlation is much lower. It should be remembered that we admitted that the instability of the lower layers could influence the instability in the common volume of the two antennas. Let us suppose that the stability be particularly great in the lower layers resulting, for example, from a temperature inversion. The parameter that we have chosen will not give a good evaluation of the instability (Fig. 8) since the low atmosphere has no influence at all at the higher altitudes. One is then led to not consider the very low layers, and it seems logical to eliminate the first 500 meters, that is, to study the slab from 850 to 650 mb. One can preserve, evidently, the other part of the mean gradient, surface - 700 mb. One then finds a correlation as good as in the preceding cases. Consequently to represent the state of the atmosphere from the point of view of propagation beyond the horizon one is led to consider the sum of the useful gradient and of a parameter of instability as we have defined above.

We have chosen experimentally the function G_M which we will call the modified gradient.*

$$(1) \quad G_M = G + T/2$$

with G = useful gradient

T = work of instability measured as indicated above.

Fig. 9 represents the transmission loss as a function of the modified gradient.

*Translator's note: This should not be confused with the parameter $M = (n + \frac{h}{a} - 1) \times 10^6$ often called "refractive modulus."

Let us recall that the transmission losses are the mean values measured during the execution of the radiosoundings. That is, we have considered the mean over a period of two hours. We have avoided the days during which the attenuation varied substantially near the hours when radiosoundings were taken. On these days, it is possible that a front of discontinuity intersected the path; on this account the radiosounding was not considered representative of the mass of air situated on the transmitter-receiver path.

One thus perceives on Fig. 9 that the correlation between the modified gradient and the transmission loss is much higher than the gradient-attenuation correlation obtained previously. It seems then that it might be useful to take into consideration a parameter of atmospheric instability and not just the mean gradient. One can evidently consider studying other parameters of instability; thus the present study represents only the first attempt.

Interpretation of the results: 1) If one admits that the correlation between the transmission loss and the modified gradient is good enough so that these two quantities are functionally related, one is led to the following conclusion:

For equal refractive index gradients, the atmosphere which is characterized by the greatest stability permits the highest fields to be received from a great distance.

It would seem then that if thermodynamic stability led to a good atmospheric stratification, the contribution of the layers is particularly important in the mechanism of propagation at a great distance.

2) One knows that the mean values of the temperature-pressure curve deviate little from the adiabatic equilibrium of the atmosphere. From this fact the mean values of the work which we have considered in order to define stability are small and sensibly constant from one month to another. It is then normal that the monthly means of the attenuation and of the gradient of index would be well correlated.

Remarks: 1) In the formula (1) defining the modified gradient, one has been led to take a coefficient 1/2 for the work. It would seem from the curve T, G (Fig. 5) that this coefficient would vary with T. But we have not analyzed enough results to be able to

affirm this. It is probable that one will be led consequently to adopt a formula slightly different for the modified gradient.

2) In the above work, we have only taken into consideration the radiosoundings at 1500 hours, Universal Time (0800 hours MST). In effect, we know that the phenomena of radiation influence the measurement of temperature by radiosoundings. For this reason, we have preferred not to compare the results of daytime and night-time measurements.

Acknowledgements: I wish to thank the National Bureau of Standards which kindly furnished the information which permitted me to make this study. In particular, I thank my friend, B. Bean whose advice has been most useful to me.

LIST OF ILLUSTRATIONS

Fig. 1 Diagram of the experimental path.

Fig. 2 Distribution of refractive index with altitude.

Fig. 3 MM_3: Measured pressure-temperature curve.

MM_1M_2: The adiabatic transformation raising an elementary volume from the level P_1 to the level P_2.

The dotted curves correspond to the adiabatic and pseudo-adiabatic curves. The same representation is used for following figures.

Fig. 4 Evaluation of the work necessary to raise an elementary volume from the surface to the 700 mb level.

Fig. 5 Refractive index gradient as a function of the work of instability for nearly constant electric field intensities.

Values of basic transmission loss are indicated beside the points. The arrows indicate the probable direction of the points A and B for slightly different values for the work of instability.

Fig. 6 Sounding of 18 July (Point B).

Fig. 7 Sounding of 2 October (Point A).

Fig. 8 Evaluation of the work of instability in the case of a temperature inversion at the surface.

Fig. 9 Distribution of basic transmission loss as a function of the modified gradient. (Applicable to hourly values of transmission loss and to values of the modified gradient corresponding to the radiosounding made at the same time).

Points A and B correspond to the same values as on Fig. 5.

The values indicated in the abcissa correspond to three times the value of the gradient per kilometer.

U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE
Sinclair Weeks, *Secretary*

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
A. V. Astin, *Director*

THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

The scope of the scientific program of the National Bureau of Standards at laboratory centers in Washington, D. C., and Boulder, Colorado, is given in the following outline:

Washington, D.C.

Electricity and Electronics. Resistance and Reactance. Electron Tubes. Electrical Instruments. Magnetic Measurements. Dielectrics. Engineering Electronics. Electronic Instrumentation. Electrochemistry.

Optics and Metrology. Photometry and Colorimetry. Optical Instruments. Photographic Technology. Length. Engineering Metrology.

Heat and Power. Temperature Physics. Thermodynamics. Cryogenic Physics. Rheology and Lubrication. Engine Fuels.

Atomic and Radiation Physics. Spectroscopy. Radiometry. Mass Spectrometry. Solid State Physics. Electron Physics. Atomic Physics. Nuclear Physics. Radioactivity. X-rays. Betatron. Nucleonic Instrumentation. Radiological Equipment. AEC Radiation Instruments.

Chemistry. Organic Coatings. Surface Chemistry. Organic Chemistry. Analytical Chemistry. Inorganic Chemistry. Electrodeposition. Gas Chemistry. Physical Chemistry. Thermochemistry. Spectrochemistry. Pure Substances.

Mechanics. Sound. Mechanical Instruments. Fluid Mechanics. Engineering Mechanics. Mass and Scale. Capacity, Density, and Fluid Meters. Combustion Controls.

Organic and Fibrous Materials. Rubber. Textiles. Paper. Leather. Testing and Specifications. Polymer Structure. Organic Plastics. Dental Research.

Metallurgy. Thermal Metallurgy. Chemical Metallurgy. Mechanical Metallurgy. Corrosion. Metal Physics.

Mineral Products. Engineering Ceramics. Glass. Refractories. Enameled Metals. Concreting Materials. Constitution and Microstructure.

Building Technology. Structural Engineering. Fire Protection. Air Conditioning. Heating, and Refrigeration. Floor, Roof, and Wall Coverings. Codes and Specifications. Heat Transfer.

Applied Mathematics. Numerical Analysis. Computation. Statistical Engineering. Mathematical Physics.

Data Processing Systems. SEAC Engineering Group. Components and Techniques. Digital Circuitry. Digital Systems. Analogue Systems. Application Engineering.

- Office of Basic Instrumentation
- Office of Weights and Measures

Boulder, Colorado
BOULDER LABORATORIES
F. W. Brown, *Director*

Cryogenic Engineering. Cryogenic Equipment. Cryogenic Processes. Properties of Materials. Gas Liquefaction.

Radio Propagation Physics. Upper Atmosphere Research. Ionospheric Research. Regular Propagation Services. Sun-Earth Relationships.

Radio Propagation Engineering. Data Reduction Instrumentation. Modulation Systems. Navigation Systems. Radio Noise. Tropospheric Measurements. Tropospheric Analysis. Radio Systems Application Engineering.

Radio Standards. High Frequency Electrical Standards. Radio Broadcast Service. High Frequency Impedance Standards. Calibration Center. Microwave Physics. Microwave Circuit Standards.

Commerce-Standards-Boulder, Colo.

NBS